

2-1-3 反応タンクの負荷量調節等による送風機電力の削減

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 宮崎 麻衣
(現 流域下水道本部施設管理課) 杉浦 雅也
(現 北多摩二号水再生センター) 葛西 孝司
(現 東京都下水道サービス株式会社) 太田 裕誌
(現 東京都下水道サービス株式会社) 多田 琴音

1. はじめに

新河岸水再生センター（以下、当センター）では、反応タンクが南系と北系に分かれ、順次、再構築工事が進められている。これまでに、北系は工事が完了し、反応タンク 12 槽に対して送風機は 6 槽ずつの 2 系統に分れている。現在は、南系の反応タンクで工事が進行中で、これと並行して南系用の送風機も再構築が行われており、1 系統だった送風機が新旧の 2 系統に分かれた。このため、南系の再構築工事中は送風機の能力と反応タンク側の要求風量がアンバランスになり、送風機の非効率な運転がしばらく続いている。

本稿では、反応タンクの再構築工事の進捗と送風機の効率性を考慮して、各反応タンクへの負荷量を調節することで送風機電力を削減する取組について報告する。

2. 取組開始前の送風機系統

当センターは合流式下水道で、水処理施設は南系と北系に分れている。南北の水量の分配は分水槽に設置されている固定堰によって、南系：北系は、おおよそ 45：55 に分水されている。このため、南系と北系の水量比の変更は困難である。当センターの平面図（反応タンク配置図）を図 1 に示す。

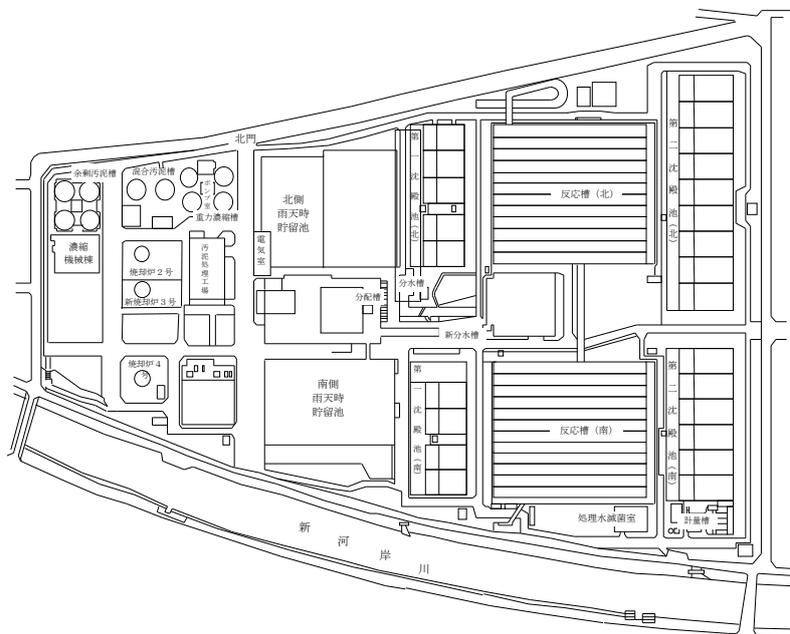


図 1 当センター反応タンク配置図

南系反応タンクの再構築開始前の時点の送風の系統と反応タンクの間接を図 2 に示す。

反応タンク（8,430 m³/槽）が南北に各 12 槽ある。すでに再構築工事が完了し 2 系統化された北系では、北系 1 が 210 kW の送風機 5 台で反応タンク 13～18 号に、北系 2 が 270 kW の送風機 5 台で反応タンク 19～24 号に送風しており、いずれも各反応タンク 1,000～4,000 Nm³/h 程度の風量で運転している。再構築前の南系では通常、700

kW の送風機 2 台運転で、負荷の高い時間帯に 700 kW の 1 台と 1500 kW の 1 台で 1～12 号に送風していた。

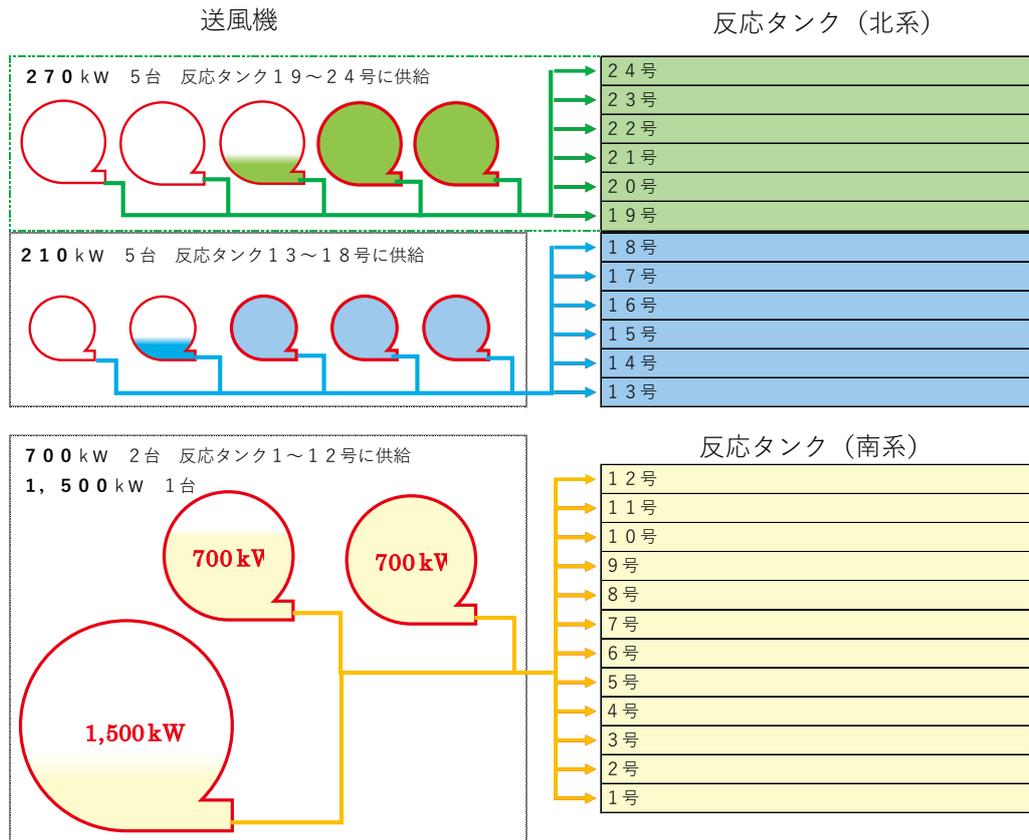


図2 送風機と反応タンクの系統図（～R4年12月南系再構築前）

3. 送風機の性能

北系送風機の吸込み風量と電流の関係は図3のとおりである。電圧が一定であるため、消費電力は電流値に比例する。送風機1号の場合は、吸込み風量が6,000 Nm³/hでは電流値は313 A、4,000 Nm³/hでは266 Aである。同じ12,000 Nm³/hの送風量でも送風機を2台運転した場合に必要な電流は627 Aであるが、3台運転の場合は798 Aとなる。

つまり、反応タンクへの送風量が同じ場合は送風機の運転台数が多くなるほど使用電力が増大する。このため、送風機の運転台数を最適化して必要最小限とすることが、送風機電力の削減に向けた省エネ対策として重要となる。

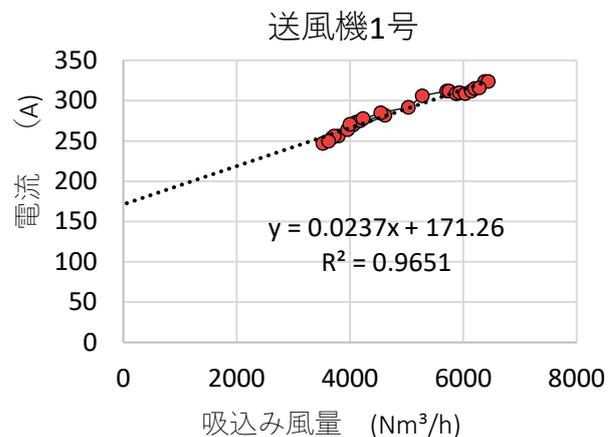


図3 送風機吸込み風量と電流

4. 各反応タンクの処理水量の測定

個々の反応タンクの処理水量を把握することは水質管理にとって重要であるが、当センターには反応タンク個々に流量計が設置されていないため、個別の流入水量、返送汚泥量が不明である。水量が多い反応タンクほど風量も多くなるため、各反応タンクの水量は風量をもとにある程度推測することができる。しかし、タンクごとに散気設備の数などが異

なるため、実際の流入量と乖離している懸念があった。そこで、反応タンクからの越流水位を測定することで反応タンクごとの処理水量の把握を試みた。

測定方法としては、レーザー距離計を用いて、反応タンクの覆蓋から水面までの距離を個別に計測した（図 4）。通常時の水面までの距離と、流入扉と返送汚泥投入扉を閉めて越流が止まった時の水面までの距離を計測してその差 h から、次の式で越流量 Q を計算した。

$$Q = C \times B \times h^{\frac{3}{2}}$$

※ $W = 7.6 \text{ m} > 1 \text{ m}$ のため、

$$C = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{h} + 0.237 \times \frac{h}{W} \right) \times (0.55W + 0.45)$$

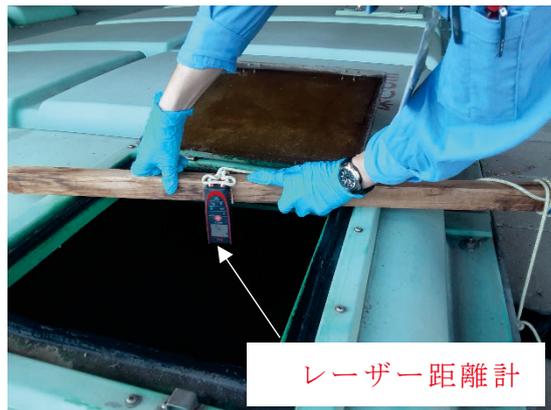
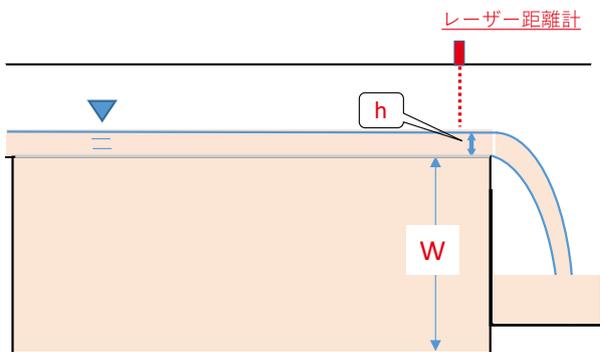


図 4 レーザー距離計による測定状況



Q : 越流量 (m^3/s)

C : 流量係数 ($\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{S}$)

B : 堰の幅 (m)

h : 越流水深 (m)

W : 水路底部から堰線までの高さ (m)

図 5 反応タンクの水量測定方法

なお、エアレーションによる泡が計測の妨げとなるため、毎日 1 槽ずつ順番に行われるブローダウンの時間帯に実施した。

5. 南系反応タンク再構築工事と送風系統の変遷

5.1 反応タンク 10 号と 12 号の運転（南系送風機が 2 系統に分離）

令和 4 年 12 月に反応タンク 10 号と 12 号の再構築工事が完了し、南系の送風機が 2 台新設された。これらは旧系統と散気水深が異なるため、系統間で相互融通ができない。新設された送風機 1 台の能力は $4,000 \sim 11,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ であり、供給先は反応タンク 10 号と 12 号の 2 槽であるため、1 槽あたりの最低風量は $2,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ となる（再構築工事が完了した北系の 1 槽あたりの最低風量は $1,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ）。通常の処理水量では低負荷時に過剰な送風となり、りん除去と脱窒に悪影響を及ぼすため、処理可能な最大水量での運転を行うことで 10 号と 12 号への過剰な送風を抑制した（放流水質優先運転）。ただし、雨天時には DO の上昇が著しいため、DO 上昇時には平日の日中に限り現場にて放風量を調節し、過剰な送風の抑制に努めた。

一方、旧系統では10号と12号の稼働により負荷量が低下し、常時、放風が必要な状態となった。工事に伴い、使用していない前ばっ気タンクの放風用のラインが新設されたが、現場にてバルブの開度を調節する必要があるため、放風量のこまめな変更は困難である。そのため、旧系統から送風している反応タンクのうち、流入扉と返送汚泥投入扉の両方を閉めることが可能な2号と8号の処理を停止し、流入水を張った状態で放風用として運用した(図6)。放風にはそれぞれの風量制御を使用して必要量を中央監視にて変更できる。

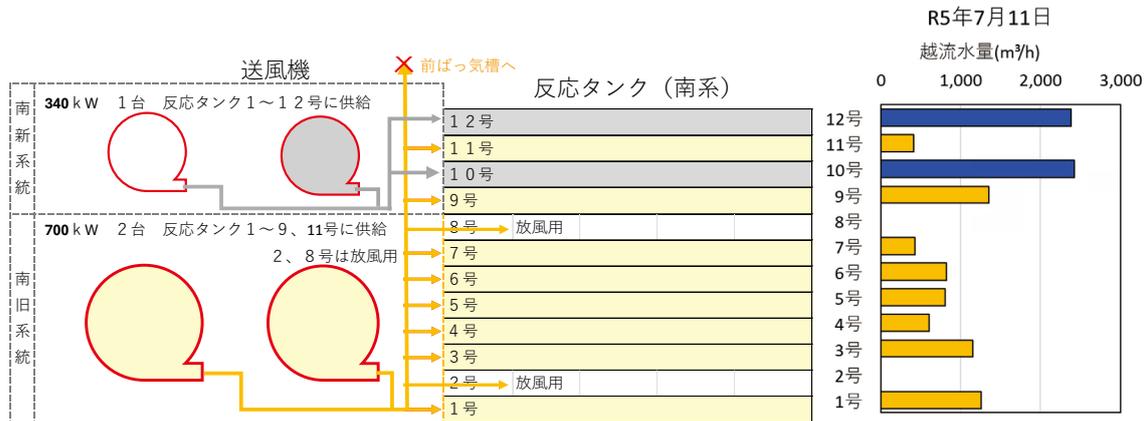


図6 南系反応タンクの模式図と越流水量 (R4年12月～R5年12月)

なお、3号と5号以外の流入扉と返送汚泥投入扉は固着などで水量調整が困難である。

南系の送風機が新旧の2系統に分れたことによってどちらの系統でも反応タンクの要求空気量が減少して送風機の能力が過大となり送風機電力は増大した(新系統 5,000 kWh/日増、旧系統 1,000 kWh/日減で 4,000 kWh/日程度: 図7)。このときの旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 59:41 であった。



図7 センター全体の送風機電力

5.2 反応タンク8号と9号の停止

令和5年12月に反応タンク8号と9号の再構築工事の開始によって、旧系統で運用していた9号と放風用の8号の停止に伴い、9号で処理していた下水を他の反応タンクに振り分ける必要があった。しかし、高負荷時には風量が不足するタンクがみられたので、10号、12号を含めて、南系反応タンク全体で9号の分を分配させた。

新系統側は負荷量増大に対応するため、送風圧力を64 → 67 kPaに上げるとともに、10号と12号への風量の最大値を上げた。一方、旧系統側は流入扉開度の微調節で対応した。9号で処理していた分の一部を10と12号に振ったため、旧系統の負荷量が少し低下して放風量がさらに増大した。8号停止に伴う放風先の減少については、2号に加えて、未使用の前ばっ気タンクを使用(放風量約 4,000 Nm³/h で固定)することで必要な放風量を確保した。

このとき、旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 56 : 44 であった。(図 8)。

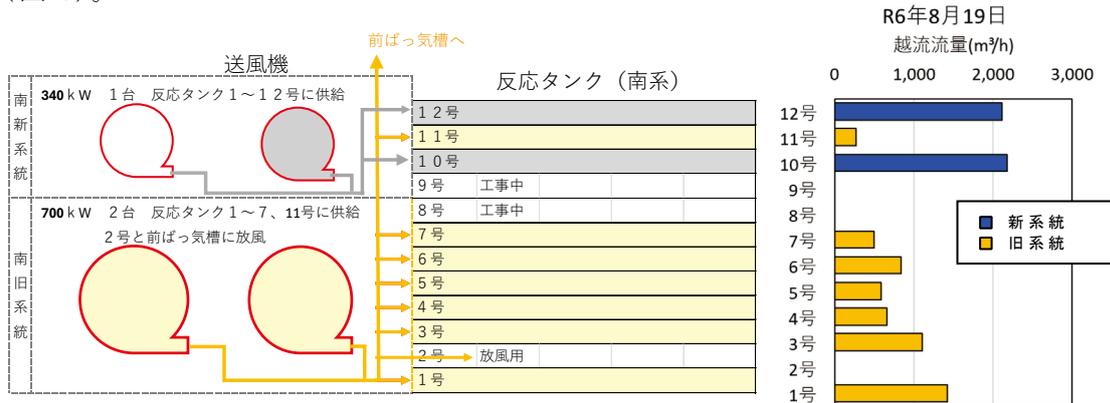


図 8 南系反応タンクの模式図と越流水量 (R5 年 12 月～R6 年 9 月)

5.3 反応タンク 8 号、9 号運転再開 (令和 6 年 9 月)

令和 6 年 9 月に反応タンク 8 号と 9 号の再構築工事が完了し、新系統では 8～10、12 号への送風となった。新系統では負荷量の増加に伴い放風が不要となった一方、旧系統では 8 号と 9 号の通水によって、負荷量はさらに低下して放風量がさらに増大した。このとき、旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 36:64 であった (図 9)。

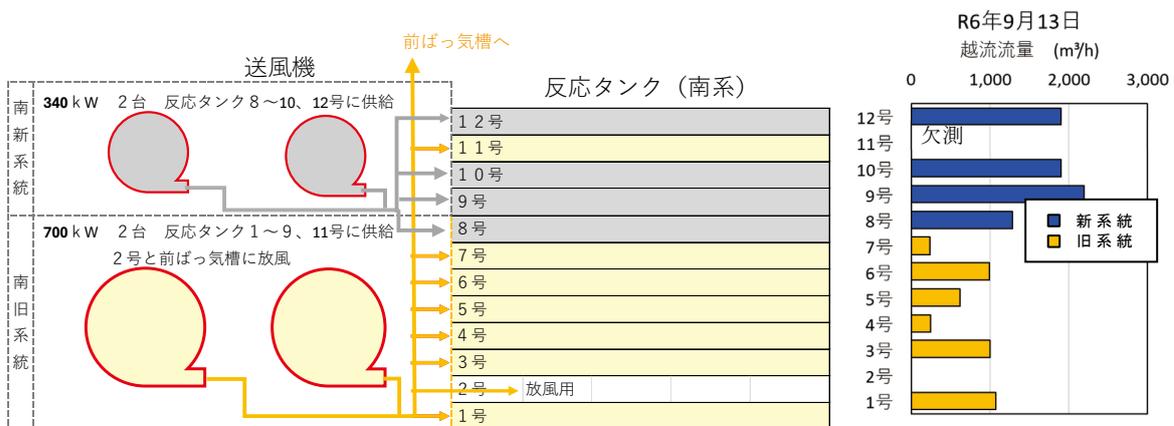


図 9 南系反応タンクの模式図と越流水量 (R6 年 9 月)

6. 南系旧系統の送風機 1 台停止 (省エネ優先運転)

旧系統側の処理水量の割合が 1/3 程度まで低下し放風量がさらに増加したため、700 kWh の送風機 1 台を停止して常時 700 kWh の送風機 1 台での運転が可能か検討した。

令和 6 年 8 月から 9 月上旬までの 1、3～7 および 11 号の合計の風量の推移を図 10 に示す。8、9 号への通水を開始した 8 月 26 日以降、要求する風量が減少した。

旧系統における空気要求量を減らすには、反応タンクの停止が効果的である。しかし、5.1 で記載の通り、南系では返送汚泥投入扉の多くが固着しており、反応タンクの停止が難しい。

一方、旧系統の反応タンクでは負荷を抑えるため流入扉の開度を絞った結果、新系統と比較して水量負荷の変動が小さく、MLSS 濃度 (図 11) や空気量がほぼ一定の状態となっ

た。

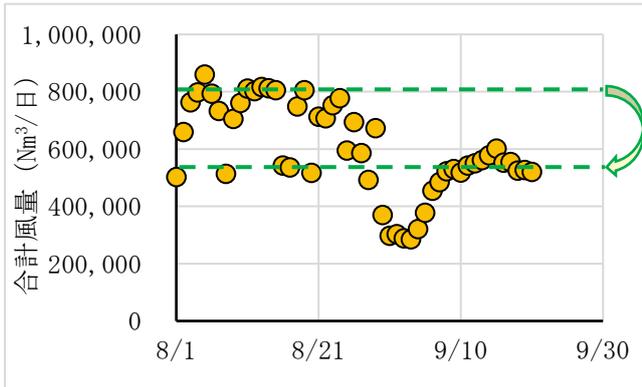


図 10 1、3～7、11号の合計風量の推移

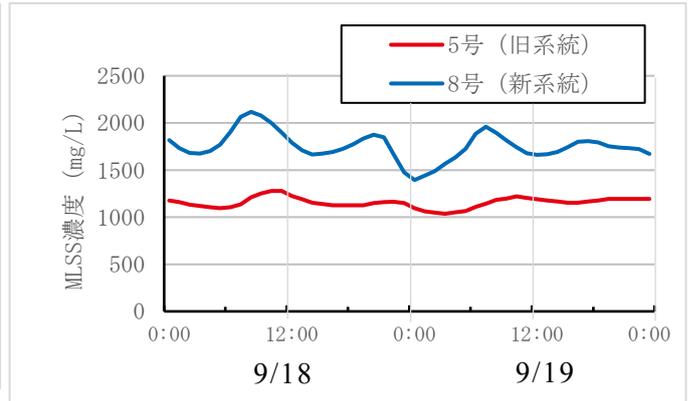


図 11 MLSS 濃度の時間変動

旧系統の 700 kWh の送風機 1 台の供給可能風量は 24,000 Nm³/h 程度であることから、常時 1 台運転とするために、9 月以降の晴天日における風量の実績から 24,000 Nm³/h を各槽に割り振った（表 1）。この値を各槽の最大風量の設定値とし、それ以上の空気を要求しないよう設定したうえで、700 kWh の送風機を 1 台停止した。以降、南系の旧系統については、処理状況を確認しながら、各反応タンクの流入扉の開度を微調節することとし、調節した結果、旧系統と新系統のそれぞれの反応タンク合計の越流量の比は 34:66 となった（図 12）。

なお、返送汚泥投入扉が固着している 4、6、7、11 号では NH₄-N が高めであるが、水量が比較的少ないため総合放流水への影響は小さい。

表 1 旧系統の反応タンクにおける風量の最大値と最小

	9月9日		9月10日		9月11日		9月12日		平均		上限 設定値
	最大	最小									
1号	4,850	3,000	4,700	2,850	4,700	2,600	4,900	3,000	4,788	2,863	4,000
3号	4,700	2,400	4,050	2,300	3,850	2,300	4,250	2,350	4,213	2,338	4,000
4号	3,400	3,150	3,350	2,550	3,400	2,400	3,450	3,050	3,400	2,788	3,000
5号	3,850	3,000	3,650	3,050	3,900	3,050	4,200	2,900	3,900	3,000	4,000
6号	3,000	2,450	2,800	2,350	3,050	2,350	3,500	2,350	3,088	2,375	3,000
7号	3,900	3,550	3,750	3,450	3,950	3,550	4,050	3,650	3,913	3,550	4,000
11号	2,600	1,550	2,100	2,000	2,500	1,950	2,350	2,000	2,388	1,875	2,000
合計	26,300	19,100	24,400	18,550	25,350	18,200	26,700	19,300	25,688	18,788	24,000

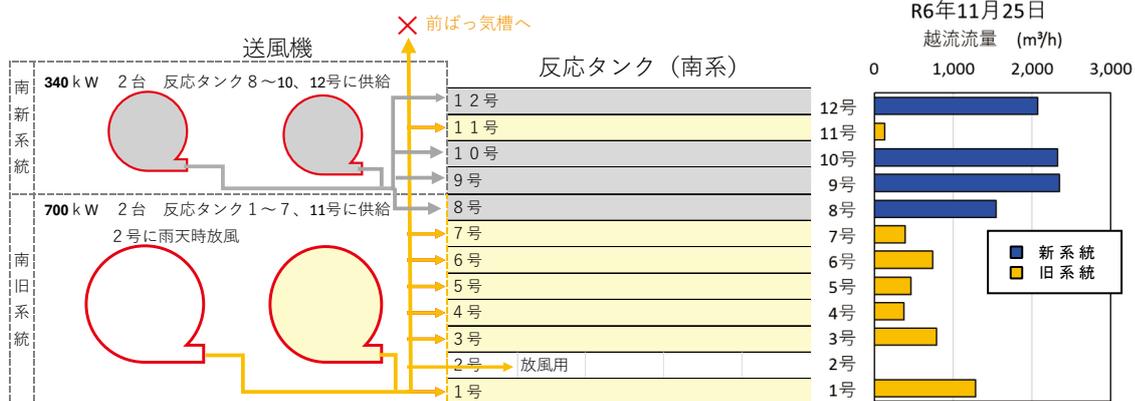


図 12 南系反応タンクの模式図と越流水量（R6 年 9 月～）

7. 北系反応タンクでの取組（省エネ対策）

令和6年8月にはそれまで手動によって切り替えていた北系送風機の運転台数を自動化した。自動化により、送風機の運転の幅が縮小されることから、省エネ化を目的に送風機の台数制御の最適な設定値を検討した。

空気本管の圧力で台数制御している施設もあるが、北系では送風機の吸込み風量の合計によって制御される。夏季の設定例を表2に示す。例えば、送風機1～5号で吸込み風量の合計が9,600 Nm³/hを超えると3台目が起動し、逆に8,600 Nm³/hを下回ると1台停止して2台運転となる。

空気（気体）は、温度によって膨張・収縮するため、送風機の能力は気温の影響を受ける。これを考慮して、気温による個々の送風機の能力を調べた。送風機運転台数の自動化を開始するまでは、反応タンク側の要求風量の増大によって圧力が低下すると1台追加していた。そのため、空气管圧力が設定値よりも下回ったときが当該送風機のそのときの最大吸込み風量とみなせる。その時の気温と吸込み風量を記録して両者の相関を送風機ごとに確認した。その例を図13と図14に示す。

表2 北系送風機運転台数の制御パターン（夏季）

	北系1		北系2	
	送風機1～5号		送風機6～10号	
	運転風量 (Nm ³ /h)	停止風量 (Nm ³ /h)	運転風量 (Nm ³ /h)	停止風量 (Nm ³ /h)
2台目	4,800	4,400	8,000	7,500
3台目	9,600	8,600	16,000	12,400
4台目	14,400	12,000	24,000	15,000

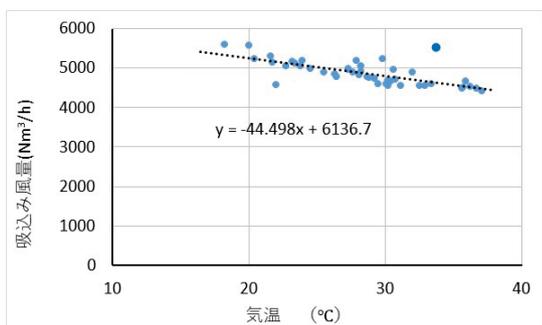


図13 気温と吸込み風量の最大値（4号）

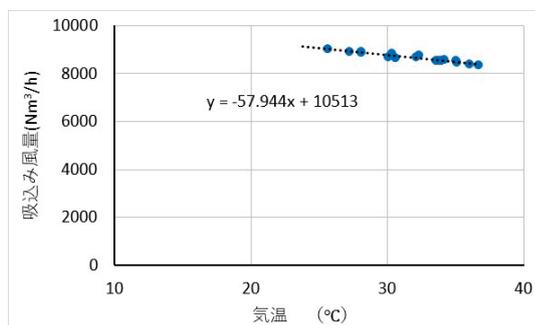


図14 気温と吸込み風量の最大値（9号）

ここで、例として、送風機6～10号における吸込み風量最大値と気温との近似式から算出した気温10～40℃までの吸込み風量の最大値を表3に示す。

5台の送風機の起動と停止の順番は、サイクルで行われるので時々で変わるので、これを考慮して吸込み風量が最も少ない号機の組み合わせを下の3列に示した。具体的には、『2台目』起動の欄は

表3 送風機別吸込み風量の最大値の気温および運転台数追加最小値（6～10号）（Nm³/h）

	気温（°C）						
	10	15	20	25	30	35	40
6号	9,189	8,887	8,586	8,284	7,982	7,680	7,379
7号	9,335	9,050	8,764	8,479	8,193	7,907	7,622
8号	9,370	9,070	8,771	8,472	8,173	7,874	7,575
9号	9,934	9,644	9,354	9,064	8,775	8,485	8,195
10号	9,849	9,485	9,122	8,758	8,394	8,031	7,667
2台目	9,189	8,887	8,586	8,284	7,982	7,680	7,379
3台目	18,524	17,937	17,350	16,756	16,155	15,554	14,954
4台目	27,894	27,008	26,121	25,235	24,348	23,462	22,575
		低温期		中温期		高温期	

最も吸込み風量の少ない6号の値を、『3台目』起動は次に少ない7号または8号との合計量を、『4台目』起動は3番目に小さい8号を加えた6～8号の合計を示している。これらの値が各気温で制御可能な最大値と設定した。

つづいて、1年間の午前10時の気温の変動を図15にて確認する。また、午前10時の気温で、低温期、中温期、高温期に分けると表4になる。

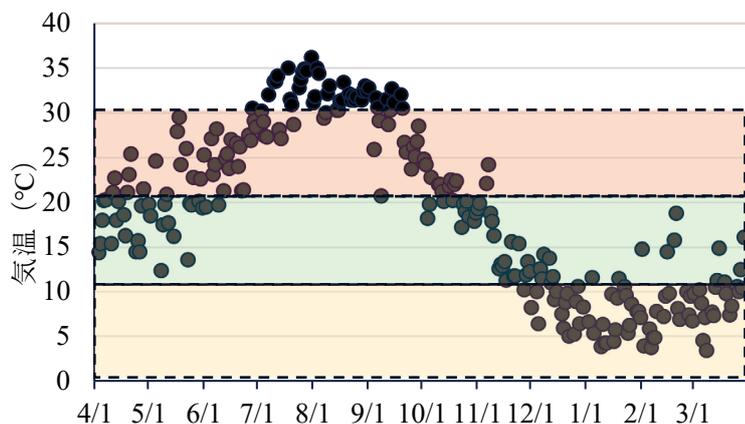


図15 気温の推移（午前10時：令和5年度）

表4 各温度帯に相当する期間

高温期 (25°C～)	6～9月
中温期 (15～25°C)	4～5月 10～11月
低温期 (～15°C)	12～翌3月

なお、送風機ごとの気温に対する最小風量については、トレンドデータからは圧力の上昇が明確に読み取れないことからデータ収集ができなかった。過去のデータ（R4年11月25日）では送風機1号の吸込み風量の範囲が6,400～3,500 Nm³/h、送風機8号（R4年11月22日）で、9,300～3,700 Nm³/hが記録されており、最小の風量は、送風機1～5号で吸込み量の最大値の55%、送風機6～10号で40%であった。これらを考慮して、停止風量の値を定める。このとき、停止風量の設定が大きくなるほど省エネ効果が高くなるが、送風機の起動・停止の頻度が多くなる。

それぞれの期間で気温の変化を考慮して『運転風量』、『停止風量』を切り替えることで、送風機の最適な運転台数に切り替えることができる。設定値の例を表5に示す。

以上の取組によって、送風機の運転台数を最適化することが可能となった。3章で記載の通り、送風機電力の削減が可能となり、省エネ効果を高めることが期待できる。

<注意>

各系統で反応タンク6槽分の風量を賅っている。反応タンクの最低風量の設定値はすべて、1,000 Nm³/hであるため、各系統6槽運

表5 季節ごとの送風機運転台数設定値の例

(×1,000Nm³/h)

1～5号

	高温期 (25°C～) 6～9月		中温期 (15～25°C) 4～5月、10～11月		低温期 (～15°C) 12～翌3月	
	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量
2台目	4.5	2.9	4.9	3.2	5.2	3.4
3台目	9.3	6.2	10.0	6.5	10.6	6.9
4台目	13.9	9.0	15.0	9.8	16.1	10.4

□：13～18号反応槽が2槽以上停止しているときに作動

6～10号

	高温期 (25°C～) 6～9月		中温期 (15～25°C) 4～5月、10～11月		低温期 (～15°C) 12～翌3月	
	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量	運転風量	停止風量
2台目	7.5	7.0	8.0	7.0	8.6	7.5
3台目	15.3	10.1	16.5	10.8	17.6	11.6
4台目	23.1	15.2	25.0	16.4	26.8	17.5

赤字：雨天時対応のため高めに設定

転中は要求風量の最低値は 6,000 Nm³/h を下回らないことになる。このため、赤字部分は雨天時に送風機の運転台数が最小となるよう高めに設定している。

なお、1～5 号の □ 部分は反応タンクの工事で 2 槽以上の停止を想定して設定している。また、1 日のうちで 5～10℃程度気温の変化があることを考慮しても概ねこの区分で支障ないと思われる。

8. これまでの取組の評価

8.1 送風機電力

今回の取組で南系旧系統の 700 kWh の送風機 1 台を停止したことにより、雨天時以外は反応タンク 2 号や前ばっ気タンクの放風が不要となった。送風機を停止した9月中旬以降、センター全体の送風機電力は、降雨の影響がみられない日には 1 日当たり 9,000 kWh 程度減少（旧系統 14,000 kWh/日減、新系統 5,000 kWh/日増）し、全体の約 15% 削減となった（図 16）。

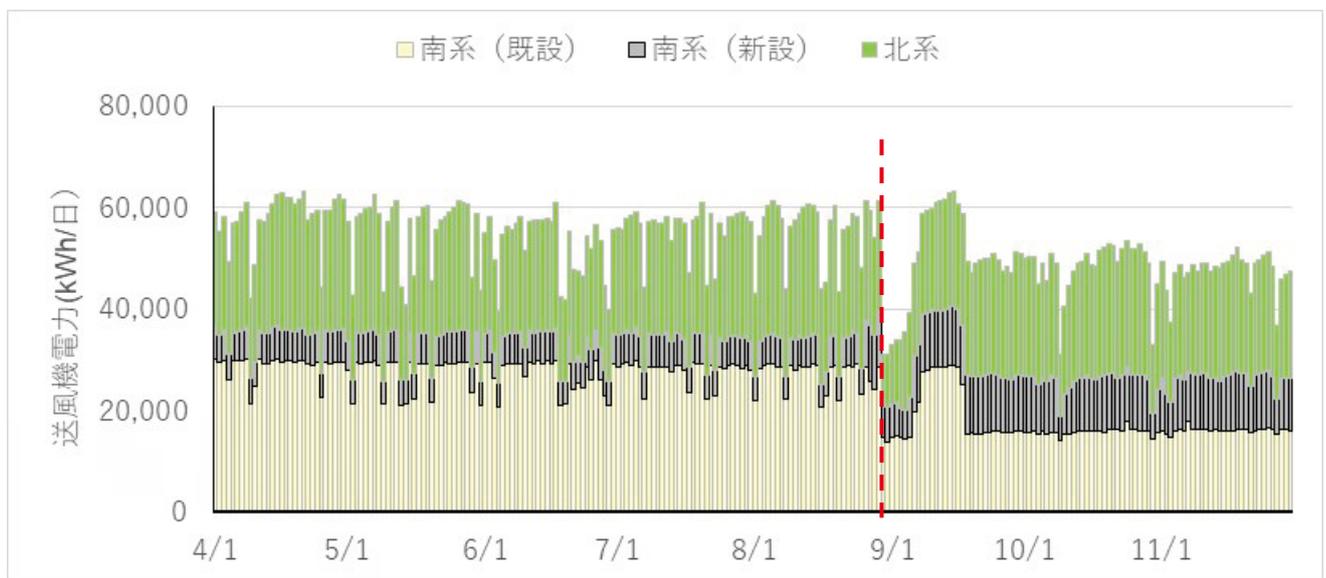


図 16 センター全体の送風機電力（R6.4.1～R6.11.30）

8.2 放流水質

負荷の高い新系統（8～10・12 号）では、他の槽に比べて NO₃-N が高めである。これは、ばっ気空気量が多く脱窒ゾーンが小さくなっているためと考えられる。また、旧系統の一部のタンクでは、高負荷時に NH₄-N や PO₄-P の残留が著しくなることがあるが、処理水に占める割合が小さいため放流水への影響は小さく、旧系統の送風機を 1 台運転としてから、これまでと同様に、日常試験および通日試験での放流水 NH₄-N と PO₄-P は概ね 2 mg/L 以下で推移しており、放流水質には影響はみられない（図 17、図 18）。

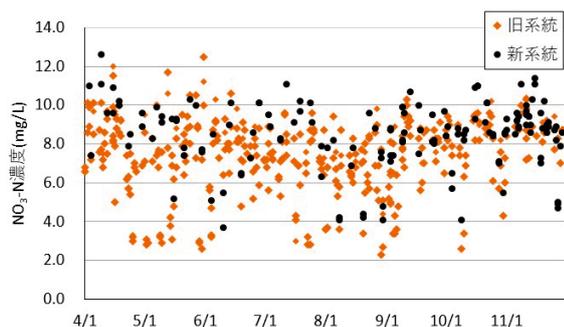


図 17 反応タンク出口の NO₃-N 濃度

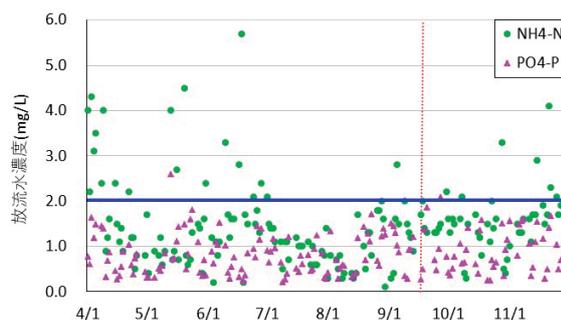


図 18 R6 年度の NH₄-N と PO₄-P

9. まとめと今後の予定

反応タンクの再構築工事の進捗と送風機の効率性を考慮して送風機電力の削減を試みた。様々な制約を踏まえたうえでの取組であったが、各反応タンクへの負荷量を調節した結果、送風機電力を 15% 程度削減することができた。

今後も順次南系反応タンクの再構築工事が計画されている。ただし、以降の反応タンクの再構築工事の前に流入扉の更新が予定されており、新系統の反応タンクを順次停止する必要があるため、その際には、旧系統の送風機の追加運転が必要となる見込みである。

引き続き工事の進捗と送風機の効率性を考慮しながら各反応タンクへの負荷量を調節することで、良好な放流水質の維持と送風機電力の削減との両立を図っていく予定である。